

100 GHz 繰り返しフェムト秒光パルス発生

日大生産工(院) ○佐野 直哉 黒岩 芽生
 中野 晶博 阿部 紘大
 日大生産工(学部) 原竹 幸輝 林 志桜
 日大生産工 野邑 寿仁亜 石澤 淳

1. まえがき

近年、高繰り返しかつ広帯域な光周波数コムは、光通信¹⁾や精密分光²⁾など様々な分野での応用が期待されている。しかし、100 GHz級の高い繰り返し周波数をもつ光周波数コムの実現は、従来のモード同期レーザーでは困難であった。本研究では、電気光学変調器を用いた25 GHz繰り返し電気光学(EO)コム生成技術³⁾を基盤とし、波形整形器によるコムモードの選択と分散補償の最適化を組み合わせることで、100 GHz繰り返しかつ220 fsの短光パルス発生に成功した。今回提案する光源は、繰り返し周波数を柔軟に選択できる特長を有しており、計測対象に最適なパルス列を供給可能な高機能フェムト秒パルス光源としての展開が期待される。

2. 波形整形器を用いたEOコムのモード選択および分散補償

我々は、25 GHz繰り返しEOコムの繰り返し周波数を100 GHzまで増加させ、かつ短パルス化を実現するために、波形整形器を用いたコムモードの選択と分散補償を行った。Fig. 1に波形整形器の概要図を示す。

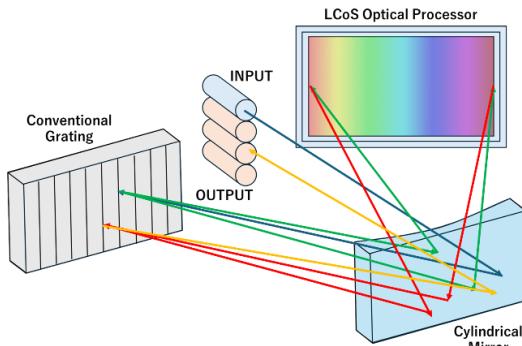


Fig. 1 Schematic of the pulse shaper

Fig. 1に示すように、波形整形器は、グレーティング、円筒ミラー、およびLCoS (Liquid Crystal on Silicon) 光学プロセッサで構成されている。波形整形器に入射された光信号は、グレーティングによって波長ごとに分離され、各

スペクトル成分がLCoS光学プロセッサに照射される。LCoS光学プロセッサは反射型の液晶素子マトリクスで構成されており、各素子に電圧を印加することで、反射される光信号に個別の位相シフトを付与することができるようになっている。このように、波形整形器は波長ごとに独立した制御が可能なため、それぞれのモードの減衰量と位相を調整することで、25 GHz間隔のコムモードから4本ごとのモードのみを反射させて100 GHz繰り返しのEOコムを生成するコムモードの選択と、各コムモードの位相を個別に最適化して分散による群遅延を相殺する分散補償を同時に実現し、高繰り返し・短パルス光の生成に成功した。

3. 実験方法および測定方法

実験配置図を Fig. 2 に示す。中心波長 1552.5 nm の狭線幅レーザーを種光源として用い、RF 信号発生器出力の 25 GHz 正弦波信号で駆動する 1 台の強度変調器と 4 台の位相変調器により、スペクトル帯域幅 18 nm の 25 GHz 繰り返し周波数の EO コムを生成した。次に、ファブリペローフィルターを用いて自然放出增幅光 (ASE) 雑音を抑圧した後、波形整形器を用いて EO コムの平坦なスペクトル部分から 100 GHz 間隔の線スペクトルを抽出し、2 次及び 3 次の分散の高精度制御を行った。その後、エルビウム添加光ファイバー増幅器 (EDFA) で光パルスを平均 5 W まで増幅し、高非線形ファイバー (HNLF) を用いて光パルス圧縮を行った。

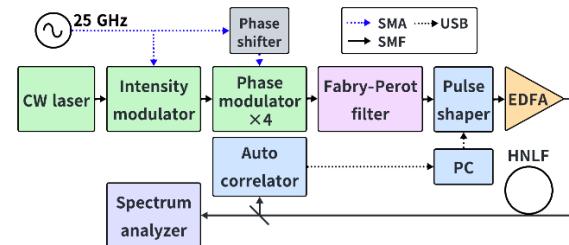


Fig. 2 Experimental setup

Generation of Femtosecond Pulses at 100-GHz Repetition Rate

Naoya SANO, Mei KUROIWA, Akihiro NAKANO, Kodai ABE, Shion HAYASHI,
 Koki HARATAKE, Junia NOMURA, and Atsushi ISHIZAWA

4. 実験結果および検討

Fig. 3に、1台の強度変調器と4台の位相変調器により生成したスペクトル帯域幅18 nmの25 GHz繰り返しEOコムと、波形整形器によりコムモードを抽出した100 GHz繰り返しEOコムのスペクトルを示す。Fig. 3に示す通り、波形整形器を用いて25 GHz繰り返しのEOコムから必要なモードのみを抽出させることにより、100 GHz繰り返し周波数EOコムの発生に成功した。

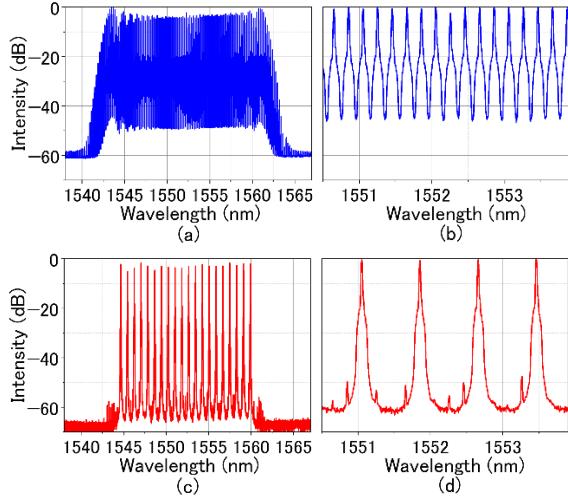


Fig. 3 (a) Optical spectrum of the 25-GHz mode spacing EO comb (b) Expanded frequency spectrum of Figure 2a. (c) Optical spectrum of the 100-GHz mode spacing EO comb (d) Expanded frequency spectrum of Figure 2c.

Fig. 4及びFig. 5に、HNLF長0.78 mにおけるオートコリレータで測定した光パルス波形とスペクトルアナライザで測定したスペクトルを示す。Fig. 4に示す通り、0.78 mのHNLFを用いることで、100 GHz繰り返しでパルス幅220 fs (ローレンツ関数フィット) の短光パルスの発生に成功した。また、Fig. 5に示す通り、100 GHz繰り返しで100 nm程度の帯域幅をもつ(@-70 dB基準) 広帯域光の発生に成功した。

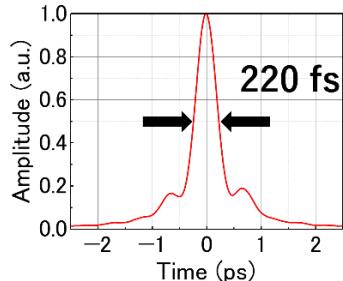


Fig. 4 Autocorrelation waveform at 100-GHz repetition rate

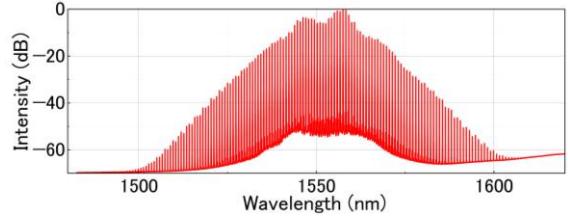


Fig. 5 the broadband spectrum with 0.78-m HNLF

5. 結論と今後の展望

我々は、25 GHz繰り返しEOコムを基盤とし、波形整形器によるコムモードの選択と高精度な2次及び3次の分散制御を組み合わせることで、繰り返し周波数100 GHz、パルス幅220 fsの短光パルス発生に成功した。今後は、本光源の優位性を活かした、光通信や精密計測への応用を目指す。

参考文献

- 1) J. Pfeifle, V. Brasch, M. Lauermann, Y. Yu, D. Wegner, T. Herr, K. Hartinger, P. Schindler, J. Li, D. Hillerkuss, R. Schmogrow, C. Weimann, R. Holzwarth, W. Freude, J. Leuthold, T.J. Kippenberg, and C. Koos, "Coherent terabit communications with microresonator Kerrfrequency combs," Nat. Photon., vol. 8, May 2014, pp. 375-380.
- 2) T. Ideguchi, S. Holzner, B. Bernhardt, G. Guelachvili, N. Picqué, and T.W. Hänsch, "Coherent Raman spectro-imaging with laser frequency combs," Nature, vol. 502, Oct. 2013, pp. 355-358.
- 3) A. Ishizawa, T. Nishikawa, K. Hitachi, T. Akatsuka, and K. Oguri: Sci. Rep. 13 (2023) 8750.